

PAT-NO: JP410327571A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10327571 A

TITLE: LINEAR PULSE MOTOR

PUBN-DATE: December 8, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

TANAKA, KEIICHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

NIKON CORP

COUNTRY

N/A

APPL-NO: JP09150032

APPL-DATE: May 23, 1997

INT-CL (IPC): H02K041/03, H02P007/00

ABSTRACT:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To effectively utilize the total area of magnetic poles faced to tooth sections for generating thrust by supporting a magnetic unit in such a way that the unit can be moved in one direction relatively to first and second exciting units.

**SOLUTION:** An exciting unit 20a is provided with, for example, a +A-phase magnetic pole 25+a which is faced to one side face of a magnetic unit 21 along the moving direction as a first magnetic pole with a prescribed gap G in between and a -A-phase magnetic pole 25-a which is faced to the opposite side face of the unit 21 along the moving direction of the unit 21 with a prescribed gap G in between and deviated in position from the magnetic pole 25+a by P/2 in the moving direction as a second magnetic pole. Each of the magnetic poles 25+a and 25-a has two tooth sections which are shifted from each other by 1P.

Each tooth section of each magnetic pole 25+a and 25-a is formed so that the thickness of each tooth section in the moving direction of the magnetic pole unit 21 may become nearly equal to the thickness of each permanent magnet 22 of the unit 21 in the moving direction.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-327571

(43) 公開日 平成10年(1998)12月8日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	F I
H 0 2 K 41/03		H 0 2 K 41/03 B
H 0 2 P 7/00	1 0 1	H 0 2 P 7/00 1 0 1 C

審査請求 未請求 請求項の数9 F D (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平9-150032

(22) 出願日 平成9年(1997)5月23日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 田中 慶一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

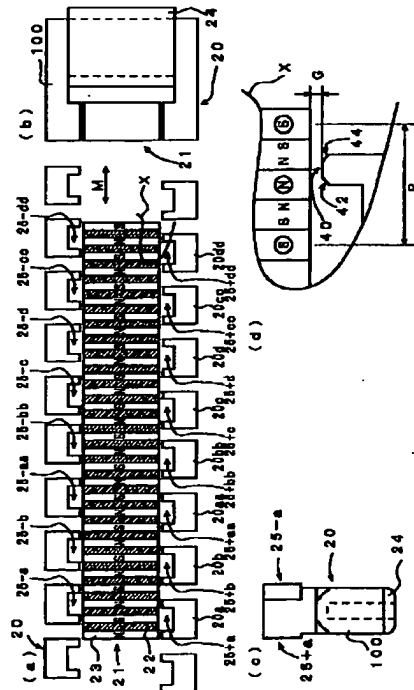
(74) 代理人 弁理士 森岡 正樹

(54) 【発明の名称】 リニアパルスモータ

(57) 【要約】

【課題】本発明は、比較的大きな推力が要求されるF A 機器の駆動系に用いられるリニアパルスモータに関し、歯部と対向する磁極の総面積を推力発生用に有効に利用でき、推力むらを低減させ、十分な剛性強度を有するリニアパルスモータを提供することを目的とする。

【解決手段】固定子としてP/8の間隔で並んだ複数の励磁ユニット群20と、励磁ユニット群20に所定の空隙で設けられ、永久磁石22と磁性体からなる歯部23が所定のピッチで交互に並んだ可動子としての磁極ユニット21とで構成される。1つの励磁ユニット20 a は、磁極ユニット21を両側から挟むように並ぶ磁極25+a、25-aと、磁極25+a、25-aを連結する磁性部材100 a と、磁性部材100 a に巻回された電機子コイル24 a とを有している。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】所定の間隔 $P/2$ で一方に並列した磁性体からなる複数の歯部と、前記一方に磁極が並び、同極同士が対向するように前記複数の歯部の各歯部間にそれぞれ挿入した複数の永久磁石とを有する磁極ユニットと、

前記磁極ユニットの前記一方に沿う一側面に所定の空隙を介して対向する第1の磁極と、前記一側面に対向する他側面に所定の空隙を介して対向し、前記第1の磁極に対して相対的に前記一方に $P/2$ だけずれて位置する第2の磁極と、前記第1及び第2の磁極を連結する第1の磁性部材と、前記第1の磁性部材に巻回された第1のコイルとを有する第1の励磁ユニットと、

前記磁極ユニットの前記一側面に所定の空隙を介して対向し、前記第1の磁極に対して相対的に前記一方に $P/4$ だけずれて位置する第3の磁極と、前記他側面に所定の空隙を介して対向し、前記第3の磁極に対して相対的に前記一方に $P/2$ だけずれて位置する第4の磁極と、前記第3及び第4の磁極を連結する第2の磁性部材と、前記第2の磁性部材に巻回された第2のコイルとを有する第2の励磁ユニットとを備え、前記第1及び第2の励磁ユニットに対して、前記磁極ユニットが前記一方に相対的に移動可能に支持されていることを特徴とするリニアパルスモータ。

【請求項2】請求項1記載のリニアパルスモータにおいて、

前記第1の励磁ユニットの前記第1及び第2の磁極は、無励磁状態において、前記磁極ユニットの前記複数の歯部のうちいずれか隣り合う2つの歯部にそれぞれ対面し、

前記隣り合う2つの歯部に挟まれた前記永久磁石の磁束が、前記隣り合う2つの歯部の一方から前記第1または第2の磁極の一方を通り、前記第1及び第2の磁極を連結する前記第1の磁性部材を介して前記第1または第2の磁極の他方に至り、さらに前記歯部の他方を介して前記永久磁石に至る閉じた磁気回路を構成することにより安定状態を形成することを特徴とするリニアパルスモータ。

【請求項3】請求項2記載のリニアパルスモータにおいて、

前記第2の励磁ユニットの前記第3及び第4の磁極は、前記第2のコイルに所定の電流を流した励磁状態において、前記磁極ユニットの前記複数の永久磁石のうちいずれか隣り合う2つの永久磁石にそれぞれ対面し、前記第2のコイルによる磁束が、前記第2の磁性部材、前記第3または第4の磁極の一方を通り、前記隣り合う2つの永久磁石の一方に隣接する歯部を介して当該永久磁石を通過し、前記隣り合う2つの永久磁石の他方に隣接する歯部を介して前記第4の磁極に至る閉じた磁気回路を構成することにより、前記第3及び第4の磁極に前

記磁極ユニットを前記一方に相対的に移動させる推力を発生させ、

一方、前記第1の励磁ユニットには、前記第1のコイルに所定の電流を流して前記安定位置における前記永久磁石による閉じた磁束を打ち消す方向に磁束を発生させて前記安定状態から不安定状態に変化させることにより、前記第1乃至第4の磁極すべてを前記磁極ユニットを前記一方に相対的に移動させる推力発生に用いることを特徴とするリニアパルスモータ。

10 【請求項4】請求項1乃至3のいずれかに記載のリニアパルスモータにおいて、

前記第1及び第2の励磁ユニットの無励磁状態での推力特性は、それぞれ前記一方に正弦波状に変化することを特徴とするリニアパルスモータ。

【請求項5】請求項1乃至4のいずれかに記載のリニアパルスモータにおいて、

前記複数の歯部の前記一方の各厚さは、ほぼ等しいことを特徴とするリニアパルスモータ。

【請求項6】請求項5記載のリニアパルスモータにおいて、

前記複数の永久磁石の前記一方の各厚さは、前記複数の歯部の前記一方の各厚さにほぼ等しいことを特徴とするリニアパルスモータ。

【請求項7】請求項6記載のリニアパルスモータにおいて、

前記第1乃至第4の各磁極は、前記一方における厚さが、前記複数の永久磁石の前記一方の各厚さにほぼ等しく、且つ前記磁極ユニットの前記一側面あるいは前記他側面にほぼ平行な端面を有し、前記端面の前記一方側両端部に所定の面取りが施されていることを特徴とするリニアパルスモータ。

【請求項8】請求項1乃至7のいずれかに記載のリニアパルスモータにおいて、

前記第1及び第2の励磁ユニットは、前記一方から見て前記磁極ユニットを挟み込んだC型形状あるいはコ字型形状であることを特徴とするリニアパルスモータ。

【請求項9】請求項1乃至8のいずれかに記載のリニアパルスモータにおいて、

前記第1及び第2の磁性部材は、薄板鋼板積層構造であることを特徴とするリニアパルスモータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、比較的大きな推力が要求されるファクトリーオートメーション（FA）機器の駆動系に用いられるリニアパルスモータに関する。

【0002】

【従来の技術】制御対象を直線上もしくは平面上で移動させたり、目標位置に位置決めさせるために、従来、回転型モータと回転運動を直線運動に変換する変換機構を有する装置が多用されている。これに対して近年、制御

対象を直接モータに取り付けて直線運動させるリニアモータの開発が進んでいる。リニアモータは変換機構がなく構成部品も少ないため、信頼性や精度の面で優れた特徴を有している。中でもリニアパルスモータは他の駆動方式に比べて力密度(力/体積・質量)が格段に大きい。ため、高推進力を要求されるFA用途の精密機器に適している。また、パルスモータはパルス駆動であるので駆動回路が比較的簡単でしかも制御性に優れているという特徴も有している。パルスモータの欠点であるとされる推力特性の直線性も構造最適化により改善されてきており、磁氣的抵抗力や推力むらの少ないリニアパルスモータの実現が期待されている。

【0003】リニアパルスモータは、電機子コイルに供給されるパルス電流により可動子を固定子に対してステップ状に進進動作させるものであり、その磁気回路構成を図13に示す。図13において、板状の磁性体によって固定子1が構成されている。固定子1の上面には、凹凸状の歯部1aが長手方向(図中左右方向)に沿って等間隔に形成されている。この固定子1の上面に所定の空隙を介して、可動子1'が図示せぬ支持機構によって固定子1の長手方向へ移動自在に支持された状態で載置されている。可動子1'は、コ字状のA相鉄心2及びB相鉄心4と、A相鉄心2の+A相磁極2a及び-A相磁極2bに各々巻かれた電機子コイル5と、B相鉄心4の+B相磁極4a及び-B相磁極4bに各々巻かれた電機子コイル6と、A相鉄心2とB相鉄心4との間に取り付けられた永久磁石3とから構成されている。

【0004】そして磁極2aの下面には、固定子1の歯部1aのピッチPと同一ピッチの極歯12aが2個形成されており、磁極2b、4a、4bの各下面にも同様に極歯12b、14a、14bが各々形成されている。また、これらの極歯12b、14a、14bは極歯12aに対して極歯14a、12b、14bの順にP/4ずつずらされて配置されており、極歯12a、12b、14a、14bの各下面と歯部1aの上面との間には、所定の空隙Gが各々形成されている。そして、電機子コイル5、6に所定のパルス電流を順次供給することにより、電機子コイル5、6が発生する磁束と永久磁石3が発生する磁束とが、各磁極2a、2b、4a、4bにおいて順次加減され、固定子1に対する可動子1'の磁氣的安定位置を順次移動させることにより、可動子1'が固定子1上を長手方向に移動する。

【0005】ここで、電機子コイル5、6に常時電流を供給する2相励磁バイポーラ駆動方式によって可動子1'が固定子1上を移動する動作を図14を用いて説明する。図14(a)~(d)は、図13に示したリニアパルスモータと同一の構造であり、電機子コイル5、6に流す電流を制御することにより可動子1'が図中右方向に移動する様子を示している。

【0006】図14(a)は、可動子1'が固定子1に

対して図13に示した状態で電機子コイル5の端子5aから端子5bに向かって所定の電流を流すと共に、電機子コイル6の端子6bから端子6aに向かって所定の電流を流した場合の可動子1'の動きを示している。前述のように電機子コイル5に電流を流すことにより、電機子コイル5が発生する磁束と永久磁石3が発生する磁束とが+A相磁極2aでは互いに打ち消し合い、-A相磁極2bでは互いに重ね合わされる。一方、電機子コイル6に前述のように電流を流すことにより、電機子コイル6が発生する磁束と永久磁石3が発生する磁束とが+B相磁極4aでは互いに打ち消し合い、-B相磁極4bでは互いに重ね合わされる。その結果、図14(a)中の実線φ1で示すような主磁束が発生し、-A相磁極2bの極歯12bと固定子1の歯部1aの間、および-B相磁極4bの極歯14bと固定子1の歯部1aの間に磁氣的吸引力が発生し、-B相磁極4bの極歯14bと固定子1の歯部1aとが等しく対向する位置、つまり図13の状態から図中右方向にP/4だけ可動子1'が移動して磁氣的安定位置となる。

【0007】次に、図14(a)の状態から電機子コイル5の端子5aから端子5bに向かって所定の電流を流すと共に、電機子コイル6の端子6aから端子6bに向かって所定の電流を流すことにより、電機子コイル5が発生する磁束と永久磁石3が発生する磁束とが+A相磁極2aでは互いに打ち消し合い、-A相磁極2bでは互いに重ね合わされる。一方、電機子コイル6が発生する磁束と永久磁石3が発生する磁束とが+B相磁極4aでは互いに重なり合い、-B相磁極4bでは互いに打ち消し合う。その結果、図14(b)中の実線φ2で示すような主磁束が発生し、-A相磁極2bの極歯12bと固定子1の歯部1aの間、および+B相磁極4aの極歯14aと固定子1の歯部1aの間に磁氣的吸引力が発生し、-A相磁極2bの極歯12bと固定子1の歯部1aとが等しく対向する位置、つまり図14(a)の状態から図中右方向にP/4だけ可動子1'が移動して図14(b)のような磁氣的安定位置となる。

【0008】次に、図14(b)の状態から電機子コイル5の端子5bから端子5aに向かって所定の電流を流すと共に、電機子コイル6の端子6aから端子6bに向かって所定の電流を流すことにより、電機子コイル5が発生する磁束と永久磁石3が発生する磁束とが-A相磁極2bを通過して+A相磁極2aで重なり合い、電機子コイル6が発生する磁束と永久磁石3が発生する磁束とが+B相磁極4aでは互いに重なり合い、-B相磁極4bでは互いに打ち消し合う。その結果、図14(c)中の実線φ3で示すような主磁束が発生し、+A相磁極2aの極歯12aと固定子1の歯部1aの間、および-B相磁極4aの極歯14aと固定子1の歯部1aの間に磁氣的吸引力が発生し、-A相磁極2bの極歯12bと固定子1の歯部1aとが等しく対向する位置、つまり図1

4 (b) の状態から図中右方向に  $P/4$  だけ可動子 1' が移動して図 14 (c) のような磁氣的安定位置となる。

【0009】次に、図 14 (c) の状態から電機子コイル 5 の端子 5 b から端子 5 a に向かって所定の電流を流すと共に、電機子コイル 6 の端子 6 b から端子 6 a に向かって所定の電流を流すことにより、電機子コイル 5 が発生する磁束と永久磁石 3 が発生する磁束とが -A 相磁極 2 b を通過して +A 相磁極 2 a で重なり合い、電機子コイル 6 が発生する磁束と永久磁石 3 が発生する磁束とが +B 相磁極 4 a では互いに打ち消し合い、-B 相磁極 4 b では互いに重ね合う。その結果、図 14 (d) 中の実線  $\phi 4$  で示すような主磁束が発生し、+A 相磁極 2 a の極歯 1 2 a と固定子 1 の歯部 1 a の間、および -B 相磁極 4 b の極歯 1 4 b と固定子 1 の歯部 1 a の間に磁氣的吸引力が発生し、+A 相磁極 2 a の極歯 1 2 a と固定子 1 の歯部 1 a とが等しく対向する位置、つまり図 14 (c) の状態から図中右方向に  $P/4$  だけ可動子 1' が移動して図 14 (d) のような磁氣的安定位置となる。

【0010】以上説明したような、図 14 (a) ~ 図 14 (d) に示す各励磁モードの順にパルス励磁を繰り返すことによって、可動子 1' は図面右方向に移動し、逆に図 14 (d) ~ 図 14 (a) の各励磁モードの順にパルス励磁を繰り返すことによって、可動子 1' は図面左方向に移動する。なお可動子 1' を固定して上述のパルス励磁を行うことにより、固定子 1 を可動させるようにすることも可能である。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】リニアパルスモータは、上述の説明における 2 相励磁バイポーラ駆動をパルス信号入力により制御して、安定位置から次の安定位置まで移動して位置決めを行う。安定位置では、例えば図 14 の場合の可動子 1' を図中右方向へ移動させる推力（正の方向推力）と可動子 1' を図中左方向へ移動させる推力（負の方向推力）が磁氣的吸引力により釣り合っている。もし安定位置での負の方向推力を正の方向推力に変えれば推力は向上できる。

【0012】ところが、上述した従来のリニアパルスモータにおいては、図 14 (a) ~ (d) に示すように、一方の +A 相磁極 2 a もしくは +B 相磁極 4 a において電機子コイル 5 もしくは電機子コイル 6 が発生する磁束と永久磁石 3 が発生する磁束とが重なり合い、推力が発生しているときには、他方の -A 相磁極 2 b もしくは -B 相磁極 4 b において電機子コイル 5 もしくは電機子コイル 6 が発生する磁束と永久磁石 3 が発生する磁束とが打ち消し合い、推力が発生しないように構成されている。逆に -A 相磁極 2 b もしくは -B 相磁極 4 b において推力が発生しているときには、+A 相磁極 2 a もしくは +B 相磁極 4 a において推力が発生しないように構成されている。したがって、実際に推力発生に寄与する推

力発生面積は、固定子 1 の歯部 1 a と対向する各磁極 2 a、2 b、4 a、4 b の総面積のうち  $1/2$  だけであり、総面積の残り  $1/2$  は、推力発生に何ら寄与していないという不都合を生じている。

【0013】また、FA 機器の駆動用に用いるため比較的大きな推力を発生させるリニアパルスモータにおいては、推力を増大させる技術と共に、大きな推力を発生させても十分な剛性強度を確保できる構造にすることも重要な課題となっている。

10 【0014】本発明の目的は、歯部と対向する磁極の総面積を推力発生用に有効に利用したリニアパルスモータを提供することにある。また、本発明の目的は、推力むらを低減させたリニアパルスモータを提供することにある。さらに、本発明の目的は、十分な剛性強度を有するリニアパルスモータを提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的は、所定の間隔  $P/2$  で一方向に並列した磁性体からなる複数の歯部と、一方向に磁極が並び、同極同士が対向するように複数の歯部の各歯部間にそれぞれ挿入した複数の永久磁石とを有する磁極ユニットと、磁極ユニットの一方向に沿う一側面に所定の空隙を介して対向する第 1 の磁極と、一側面对向する他側面に所定の空隙を介して対向し、第 1 の磁極に対して相対的に一方向に  $P/2$  だけずれて位置する第 2 の磁極と、第 1 及び第 2 の磁極を連結する第 1 の磁性部材と、第 1 の磁性部材に巻回された第 1 のコイルとを有する第 1 の励磁ユニットと、磁極ユニットの一側面に所定の空隙を介して対向し、第 1 の磁極に対して相対的に一方向に  $P/4$  だけずれて位置する第 3 の磁極と、他側面に所定の空隙を介して対向し、第 3 の磁極に対して相対的に一方向に  $P/2$  だけずれて位置する第 4 の磁極と、第 3 及び第 4 の磁極を連結する第 2 の磁性部材と、第 2 の磁性部材に巻回された第 2 のコイルとを有する第 2 の励磁ユニットとを備え、第 1 及び第 2 の励磁ユニットに対して、磁極ユニットが一方向に相対的に移動可能に支持されていることを特徴とするリニアパルスモータによって達成される。

40 【0016】また、上記リニアパルスモータは、第 1 の励磁ユニットの第 1 及び第 2 の磁極は、無励磁状態において、磁極ユニットの複数の歯部のうちいずれか隣り合う 2 つの歯部にそれぞれ対面し、隣り合う 2 つの歯部に挟まれた永久磁石の磁束が、隣り合う 2 つの歯部の一方から第 1 または第 2 の磁極の一方を通り、第 1 及び第 2 の磁極を連結する第 1 の磁性部材を介して第 1 または第 2 の磁極の他方に至り、さらに歯部の他方を介して永久磁石に至る閉じた磁気回路を構成することにより安定状態を形成することを特徴とするリニアパルスモータであることを特徴としている。

50 【0017】またさらに、第 2 の励磁ユニットの第 3 及び第 4 の磁極は、第 2 のコイルに所定の電流を流した励

磁状態において、磁極ユニットの複数の永久磁石のうちいずれか隣り合う2つの永久磁石にそれぞれ対面し、第2のコイルによる磁束が、第2の磁性部材、第3または第4の磁極の一方を通り、隣り合う2つの永久磁石の一方に隣接する歯部を介して当該永久磁石を通過し、隣り合う2つの永久磁石の他方に隣接する歯部を介して第4の磁極に至る閉じた磁気回路を構成することにより、第3及び第4の磁極に磁極ユニットを一方に相対的に移動させる推力を発生させ、一方、第1の励磁ユニットには、第1のコイルに所定の電流を流して安定位置における永久磁石による閉じた磁束を打ち消す方向に磁束を発生させて安定状態から不安定状態に変化させることにより、第1乃至第4の磁極すべてを磁極ユニットを一方に相対的に移動させる推力発生に用いることを特徴とするリニアパルスモータであることを特徴としている。

【0018】また、上述のリニアパルスモータにおいて、第1及び第2の励磁ユニットの無励磁状態での推力特性は、それぞれ一方に正弦波状に変化することを特徴とする。また、複数の歯部の一方の各厚さは、ほぼ等しいことを特徴とする。さらに、複数の永久磁石の一方の各厚さは、複数の歯部の一方の各厚さにほぼ等しいことを特徴とする。

【0019】また、第1乃至第4の各磁極は、一方における厚さが、複数の永久磁石の一方の各厚さにほぼ等しく、且つ磁極ユニットの一側面あるいは他側面にほぼ平行な端面を有し、端面の一方側両端部に所定の面取りが施されていることを特徴とする。さらに、第1及び第2の励磁ユニットは、一方から見て前記磁極ユニットを挟み込んだC型形状あるいはコ字型形状であることを特徴とする。また、上述のリニアパルスモータにおいて、第1及び第2の磁性部材は、薄板鋼板積層構造であることを特徴とする。

【0020】このように本発明のリニアパルスモータは、電機子コイルを励磁ユニット側に設け、磁極ユニットの歯と歯の間に磁極の方向が互に対向するように永久磁石を積層させ、磁極ユニットが、例えばC型形状の励磁ユニットと共に磁気回路の一部を構成するよう当該C型形状の空隙部に配し、その磁極ユニットの磁極側面の平行2面に対向する2つの歯の位相が $P/2$ ずれた磁極をもち、電機子コイルをC型形状の励磁ユニットの一部に巻いた励磁ユニット群から構成されていることを特徴としている。

【0021】従って、上記構成によれば、電機子コイルに電流を流すとC型形状の励磁ユニットの一方の磁極から磁極ユニットの例えばS極側の歯部に流入した磁束が永久磁石を介して隣り合うN極側の歯部に流入する主磁束ループが形成されるので、励磁ユニットと磁極ユニットの対向する各磁極の総面積を推力発生に有効に利用することができ、高推力を得ることができる。

【0022】また、第1乃至第4の各磁極の一方にお

ける厚さを、複数の永久磁石の一方の各厚さにほぼ等しくし、且つ第1乃至第4の各磁極が、磁極ユニットの一側面あるいは他側面にほぼ平行な端面を有し、端面の一方側両端部に所定の面取りが施されているようにすることにより、第1及び第2の励磁ユニットの無励磁状態での推力特性を、それぞれ一方に正弦波状に変化させることができるようになる。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明の一実施の形態によるリニアパルスモータを図1乃至図12を用いて説明する。図1は、本実施の形態によるリニアパルスモータの構造を示しており、図1(a)は、本実施の形態によるリニアパルスモータの平面図、図1(b)は同側面図、図1

(c)は本実施の形態によるリニアパルスモータの一構成要素である励磁ユニットの側面図、図1(d)は図1(a)の切断領域Xの拡大図である。また、図2は、本実施の形態によるリニアパルスモータの斜視図である。

【0024】まず、本実施の形態によるリニアパルスモータの概略の構成を図1及び図2を用いて説明する。本実施の形態によるリニアパルスモータは、固定子として機能する複数の励磁ユニット20a、20b、...、からなる励磁ユニット群20と、励磁ユニット群20に所定の空隙で設けられた可動子として機能する磁極ユニット21とで構成されている。

【0025】磁極ユニット21は、所定の間隔 $P/2$ で一方（移動方向）に並列した磁性体からなる複数の歯部23と、移動方向に磁極が並び（すなわち、移動方向に磁軸を有し）、同極同士が対向するように複数の歯部23の各歯部間にそれぞれ挿入された複数の永久磁石22とを有している。本実施の形態においては、磁極ユニット21の移動方向における磁性体23の厚さ（幅）と永久磁石22の厚さ（幅）は等しくしている。また、本実施の形態においては、図1(d)に示したように所定の間隔（ピッチ）Pは、永久磁石22のS（又はN）極に挟まれた歯部23から次の永久磁石22のS（又はN）極に挟まれた歯部23までの距離、あるいは、磁極の向きが同方向となる直近の2つの永久磁石22間の距離をいうものとする。

【0026】磁極ユニット21は、図示しない支持機構によって励磁ユニット群20の長手方向（図1(a)に示す矢印M方向）へ移動自在に支持されている。複数の励磁ユニット20a、20b、...の各々は全て同一の形状及び構成であり、隣り合う2つの励磁ユニット20a、20b、励磁ユニット20aa、20bb、...、でそれぞれ1組をなしている。

【0027】ここで1個の励磁ユニットの構成について説明すると、例えば、励磁ユニット20aは、磁極ユニット21の移動方向に沿う一側面に所定の空隙Gを介して対向する第1の磁極としての+A相磁極25+aと、磁極ユニット21の移動方向に沿う一側面に対向する他

側面に所定の空隙Gを介して対向し、+A相磁極25+aに対して相対的に移動方向にP/2だけずれて位置する第2の磁極としての-A相磁極25-aとを有している。

【0028】+A相磁極25+a、-A相磁極25-aは、1ピッチ(1P)ずれた2つの歯部をそれぞれ有している。各磁極25+a、25-aの各歯部の磁極ユニット21の移動方向における厚さは、磁極ユニット21の複数の永久磁石22の移動方向の各厚さにほぼ等しくなるように形成されている。また図1(d)に示すように各磁極25の各歯部の先端部は、対向する磁極ユニット21の側面にはほぼ平行な端面40を有し、端面40の磁極ユニット21の移動方向側両端部に所定の面取り42、44が施されている。磁極ユニット21の移動方向における端面40、面取り42、44の長さの比は、約2:1:1に設定されている。また、面取り42、44における磁極ユニット21の移動方向の長さ、当該移動方向に垂直方向の長さの比は、約2:1に設定されている。

【0029】さらに励磁ユニット20aは、図1(b)、及び図1(c)に示すように磁極ユニット21の移動方向からみて、+A相磁極25+aと-A相磁極25-aを一体的に連結するC型(あるいはコ字型)形状の磁性部材100a(図1(b)では、代表的に符号100で示している(以下同じ))を有している。また、磁性部材100aには+A相磁極25+aと-A相磁極25-aとの間に電機子コイル24a(図1(b)では、代表的に符号24で示している(以下同じ))が巻回されている。

【0030】また、励磁ユニット20aの隣に位置し励磁ユニット20aと組をなす励磁ユニット20bは、磁極ユニット21の移動方向に所定の空隙Gを介して対向し、第1の磁極である+A相磁極25+aに対して相対的に移動方向にP/4だけずれて位置する第3の磁極としての+B相磁極25+bと、他側面に所定の空隙Gを介して対向し、+B相磁極25+bに対して相対的に移動方向にP/2だけずれて位置する第4の磁極としての-B相磁極25-bとを有している。これら+B相磁極25+b、-B相磁極25-bは、1Pずれた2つの歯部をそれぞれ有している。さらに励磁ユニット20bも、励磁ユニット20aと同様に、図1(b)に示すように磁極ユニット21の移動方向からみて、+B相磁極25+bと-B相磁極25-bを一体的に連結するC型(あるいはコ字型)形状の磁性部材100bを有し、+B相磁極25+bと-B相磁極25-bとの間に電機子コイル24bが巻回されている。

【0031】本実施の形態においては、以上のような構成の励磁ユニットを8個用いて4相励磁駆動させるものとし、これ以降各励磁ユニットを図1(a)中左から順に、A相励磁ユニット20a、B相励磁ユニット20

b、A'相励磁ユニット20aa、B'相励磁ユニット20bb、C相励磁ユニット20c、D相励磁ユニット20d、C'相励磁ユニット20cc、D'相励磁ユニット20ddと呼ぶことにする。

【0032】また、上述および図1(a)に示すように、A相励磁ユニット20aは、+A相磁極25+aと-A相磁極25-aを有し、以下同様にA'相励磁ユニット20aaは+A相磁極25+aaと-A相磁極25-aa、B相励磁ユニット20bは+B相磁極25+bと-B相磁極25-b、B'相励磁ユニット20bbは+B相磁極25+bbと-B相磁極25-bb、C相励磁ユニット20cは+C相磁極25+cと-C相磁極25-c、C'相励磁ユニット20ccは+C相磁極25+ccと-C相磁極25-cc、D相励磁ユニット20dは+D相磁極25+dと-D相磁極25-d、D'相励磁ユニット20ddは+D相磁極25+ddと-D相磁極25-ddを有している。

【0033】各磁極25+a、25-a、25+aa、25-aa、25+b、25-b、25+bb、25-bb、25+c、25-c、25+cc、25-cc、25+d、25-d、25+dd、25-ddの相対位置関係は次の通りである。各磁極25+aと磁極25-a、磁極25+aと磁極25+aa、磁極25+bと磁極25-b、磁極25+bと磁極25+bb、磁極25+cと磁極25-c、磁極25+cと磁極25+cc、磁極25+dと磁極25-d、磁極25+dと磁極25+ddは、それぞれP/2隔てて位置している。また、磁極25+aと磁極25+bは上述のようにP/4隔てて位置し、磁極25+aと磁極25+cはP/8隔てて位置し、磁極25+aと磁極25+dは3P/8隔てて位置している。これにより、各磁極25+a、25+c、25+b、25+d、25+aa、25+cc、25+bb、25+ddの順に、また各磁極25-a、25-c、25-b、25-d、25-aa、25-cc、25-bb、25-ddの順に、移動方向(図1(a)中矢印Mの方向)へP/8ずつの変位を有して配置されている。

【0034】さて、以上の構成において、本実施の形態によるリニアパルスモータの基本的な動作を、A相励磁ユニット20a及びB相励磁ユニット20bの2個一組を代表例として簡略化して示した図3乃至図7を用いて説明する。なお、励磁ユニット20a、20bのそれぞれの磁性部材100a、100bは、実際には図1及び図2に示したように磁極ユニット21の移動方向にほぼ垂直な面内に磁極ユニット21を挟むようなC型形状に設けられているが、図3乃至図7においては、以下に説明する磁束の流れを視覚的に容易に把握できるように、それらを磁極ユニット21と同一の平面上に模式的に表している。また、磁極ユニット21の各歯部23には、極性及び配列順序の識別を容易にするため添え字S0~S



11

5、N0～N5を伏している。

【0035】まずはじめに、図3は各電機子コイル24a、24bに電流を供給しない停止状態を示している。この停止状態において、A相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aの2つの歯部は磁極ユニット21のS極側歯部23S1、23S2にそれぞれ対面し、-A相磁極25-aの2つの歯部は、磁極ユニット21のN極側歯部23N1、23N2にそれぞれ対面している。一方、B相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bの2つの歯部は磁極ユニット21のS極側歯部23S3とN極側歯部23N3に挟まれた永久磁石22と、S極側歯部23S4とN極側歯部23N4に挟まれた永久磁石22にそれぞれ対面し、-B相磁極25-bの2つの歯部は磁極ユニット21のN極側歯部23N3とS極側歯部23S4に挟まれた永久磁石22と、N極側歯部23N4とS極側歯部23S5とに挟まれた永久磁石22にそれぞれ対面している。

【0036】このような停止状態において、A相励磁ユニット20a側では、所定の永久磁石22からの磁束は磁極ユニット21のN極側歯部23N1、23N2からA相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aの歯部に流入し、A相励磁ユニット20aの磁性部材100aを經由して+A相磁極25+aの歯部に至り、再び磁極ユニット21上のS極側歯部23S1、23S2に戻り、所定の永久磁石22に帰還する磁束ループφ31が形成される。

【0037】一方、B相励磁ユニット20b側では、磁極ユニット21上の所定の永久磁石22からの磁束は、N極側歯部23N3、23N4からB相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bを介して、隣り合うS極側歯部23S3、23S4に流入し、各永久磁石22に帰還する磁束ループと、N極側歯部23N3、23N4からB相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bを介して、隣り合うS極側歯部23S4、23S5に流入し、各永久磁石22に帰還する磁束ループ（両者を併せて磁束ループφ32という）が形成されている。

【0038】この状態から各電機子コイル24a、24bの両コイルに所定の電流を供給する2相励磁バイポーラ電流方式により磁極ユニット21を駆動するものとする。まず、図3に示した停止状態から図4に示すように、電機子コイル24aに対して図中の×印から・印の方向へ所定の正電流+Iaを供給すると、電機子コイル24aによる起磁力によりA相励磁ユニット20aの内部で+A相磁極25+aから-A相磁極25-aに向かう磁束が生じる。この磁束は、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力により生じているN極側歯部23N1、23N2を經由した磁束と対向することにより、隣り合うS極側歯部23S1、23S2、23S3方向に屈曲され、永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N0、23N1、23N2に進み、A相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aに帰還する主磁束ループφ33を形成する。

12

【0039】一方、電機子コイル24bに対して、図に示す×印から・印の方向へ所定の負電流-Ibを供給すると、B相励磁ユニット20bの内部で-B相磁極25-bから+B相磁極25+bに向かって電機子コイル24bによる起磁力で生じた磁束が、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力による磁束と共にB相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bからS極側歯部23S3、23S4に流入し、さらに永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N3、23N4に流入し、これらN極側歯部23N3、23N4からB相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bへ流入する主磁束ループφ34を形成する。

【0040】この結果、磁極ユニット21のS極側歯部23S1、23S2は、対向するA相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aから移動方向と垂直方向に磁気的反発力を受け、磁極ユニット21のN極側歯部23N1、23N2は、対向するA相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aから移動方向と垂直方向に磁気的反発力を受ける。また、磁極ユニット21のS極側歯部23S3、23S4は、対向するB相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bから磁気的吸引力を受け、磁極ユニット21のN極側歯部23N3、23N4は、対向するB相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bから磁気的吸引力を受ける。つまり、磁極ユニット21は、B相励磁ユニット20bの磁極の全ての歯部から磁気的吸引力を与えられる。

【0041】このため、磁極ユニット21は、図中右方向への推力を与えられて、B相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bの歯部が磁極ユニット21のS極側歯部23S3、23S4と対向し、-B相磁極25-bの歯部が磁極ユニット21のN極側歯部23N3、23N4と対向する位置までP/4だけ移動し、この位置で磁気的安定となる。この移動の際、B相励磁ユニット20bの磁極25+b、25-bの全ての歯部による磁気的吸引力により磁極ユニット21が一旦移動し始めると、磁極ユニット21のN極側歯部23N0、23N1はA相励磁ユニット20aの磁極25+aから磁気的吸引力を受け、S極側歯部23S1、23S2はA相励磁ユニット20aの磁極25-aから磁気的吸引力を受けてB相励磁ユニット20bで生じた推力と同方向の推力を発生させる。同時に、磁極ユニット21のN極側歯部23N1、23N2はA相励磁ユニット20aの磁極25-aから磁気的反発力を受け、S極側歯部23S1、23S2はA相励磁ユニット20aの磁極25+aから磁気的反発力を受けてB相励磁ユニット20bで生じた推力と同方向の推力を発生させる。

【0042】このように本実施の形態によるリニアパルスモータによれば、図3、図4に示した位置から図中右方向にP/4だけ相対的に磁極ユニット21を移動させる際に、励磁ユニット20の磁極の全ての歯部を所定の

10

20

30

40

50

13

移動方向への推力発生に寄与させることができる。

【0043】次に、図4に示した位置から図中右方向にP/4だけ相対的に磁極ユニット21が移動した状態を図5に示す。図5に示した状態から、電機子コイル24aに対して図中の×印から・印の方向へ所定の正電流+Iaを供給すると、A相励磁ユニット20aの内部で+A相磁極25+aから-A相磁極25-bに向かって電機子コイル24aによる起磁力より生じた磁束が、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力による磁束と共にA相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aからS極側歯部23S1、23S2に流入し、さらに永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N0、23N1に流入し、これらN極側歯部23N0、23N1からA相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aへ流入する主磁束ループφ35を形成する。

【0044】一方、電機子コイル24bに対して図中の×印から・印の方向へ所定の正電流+Ibを供給すると、電機子コイル24bによる起磁力によりB相励磁ユニット20bの内部で+B相磁極25+bから-B相磁極25-bに向かう磁束が生じる。この磁束は、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力により生じているN極側歯部23N3、23N4を経由した磁束と対向することにより、隣り合うS極側歯部23S3、23S4、23S5方向に屈曲され、永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N2、23N3、23N4に進み、B相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bに帰還する主磁束ループφ36を形成する。

【0045】この結果、磁極ユニット21のS極側歯部23S1、23S2は、対向するA相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aから磁氣的吸引力を受け、磁極ユニット21のN極側歯部23N0、23N1は、対向するA相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aから磁氣的吸引力を受ける。つまり、磁極ユニット21は、A相励磁ユニット20aの磁極の全ての歯部から磁氣的吸引力を与えられる。このため、磁極ユニット21は、図中右方向への推力を与えられて、A相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aの歯部が磁極ユニット21のN極側歯部23N0、23N1と対向し、-A相磁極25-aの歯部が磁極ユニット21のS極側歯部23S1、23S2と対向する位置までP/4だけ移動し、この位置で磁氣的安定となる。

【0046】また、磁極ユニット21のS極側歯部23S3、23S4は、対向するB相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bから移動方向と垂直方向に磁氣的反発力を受け、磁極ユニット21のN極側歯部23N3、23N4は、対向するB相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bから移動方向と垂直方向に磁氣的反発力を受ける。

【0047】この場合においても、A相励磁ユニット20aの磁極25+a、25-aの全ての歯部による磁氣的吸引力により磁極ユニット21が一旦移動し始める

14

と、磁極ユニット21のN極側歯部23N2、23N3はB相励磁ユニット20bの磁極25+bから磁氣的吸引力を受け、S極側歯部23S3、23S4はB相励磁ユニット20bの磁極25-bから磁氣的吸引力を受けてA相励磁ユニット20aで生じた推力と同方向の推力を発生させる。同時に、磁極ユニット21のN極側歯部23N3、23N4はB相励磁ユニット20bの磁極25-bから磁氣的反発力を受け、S極側歯部23S3、23S4はB相励磁ユニット20bの磁極25+bから磁氣的反発力を受けてA相励磁ユニット20aで生じた推力と同方向の推力を発生させる。

【0048】従って、図5に示した位置から図中右方向にP/4だけ相対的に磁極ユニット21を移動させる際に、励磁ユニット20の磁極の全ての歯部が所定の移動方向への推力発生に寄与することになる。

【0049】次に、図5に示した位置から図中右方向にP/4だけ相対的に磁極ユニット21が移動した状態を図6に示す。図6に示した状態から、電機子コイル24aに対して図中の×印から・印の方向へ所定の負電流-Iaを供給すると、電機子コイル24aによる起磁力によりA相励磁ユニット20aの内部で-A相磁極25-aから+A相磁極25+aに向かう磁束が生じる。この磁束は、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力により生じているN極側歯部23N0、23N1を経由した磁束と対向することにより、隣り合うS極側歯部23S0、23S1、23S2方向に屈曲され、永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N0、23N1、23N2に進み、A相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aに帰還する主磁束ループφ37を形成する。

【0050】一方、電機子コイル24bに対して、図に示す×印から・印の方向へ所定の正電流+Ibを供給すると、B相励磁ユニット20bの内部で+B相磁極25+bから-B相磁極25-bに向かって電機子コイル24bによる起磁力により生じた磁束が、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力による磁束と共にB相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bからS極側歯部23S3、23S4に流入し、さらに永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N2、23N3に流入し、これらN極側歯部23N2、23N3からB相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bへ流入する主磁束ループφ38を形成する。

【0051】この結果、磁極ユニット21のS極側歯部23S1、23S2は、対向するA相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aから移動方向と垂直方向に磁氣的反発力を受け、磁極ユニット21のN極側歯部23N0、23N1は、対向するA相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aから移動方向と垂直方向に磁氣的反発力を受ける。また、磁極ユニット21のS極側歯部23S3、23S4は、対向するB相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bから磁氣的吸引力を受け、磁極ユニット21のN

10

20

30

40

50

極側歯部23N2、23N3は、対向するB相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bから磁氣的吸引力を受け、つまり、磁極ユニット21は、B相励磁ユニット20bの磁極の全ての歯部から磁氣的吸引力を与えられる。

【0052】このため、磁極ユニット21は、図中右方向への推力を与えられて、B相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bの歯部が磁極ユニット21のN極側歯部23N2、23N3と対向し、-B相磁極25-bの歯部が磁極ユニット21のS極側歯部23S3、23S4と対向する位置までP/4だけ移動し、この位置で磁氣的安定となる。この移動の際、B相励磁ユニット20bの磁極25+b、25-bの全ての歯部による磁氣的吸引力により磁極ユニット21が一旦移動し始めると、磁極ユニット21のS極側歯部23S0、23S1はA相励磁ユニット20aの磁極25+aから磁氣的吸引力を受け、N極側歯部23N0、23N1はA相励磁ユニット20aの磁極25-aから磁氣的吸引力を受けてB相励磁ユニット20bで生じた推力と同方向の推力を発生させる。同時に、磁極ユニット21のN極側歯部23N0、23N1はA相励磁ユニット20aの磁極25+aから磁氣的反発力を受け、S極側歯部23S1、23S2はA相励磁ユニット20aの磁極25-aから磁氣的反発力を受けてB相励磁ユニット20bで生じた推力と同方向の推力を発生させる。

【0053】このようにして、図6に示した位置から図中右方向にP/4だけ相対的に磁極ユニット21を移動させる際に、励磁ユニット20の磁極の全ての歯部を所定の移動方向への推力発生に寄与させることができるようになる。

【0054】次に、図6に示した位置から図中右方向にP/4だけ相対的に磁極ユニット21が移動した状態を図7に示す。図7に示した状態から、電機子コイル24aに対して図中の×印から・印の方向へ所定の負電流-Iaを供給すると、A相励磁ユニット20aの内部で-A相磁極25-aから+A相磁極25+bに向かって電機子コイル24aによる起磁力により生じた磁束が、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力による磁束と共にA相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aからS極側歯部23S0、23S1に流入し、さらに永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N0、23N1に流入し、これらN極側歯部23N0、23N1からA相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aへ流入する主磁束ループφ39を形成する。

【0055】一方、電機子コイル24bに対して図中の×印から・印の方向へ所定の負電流-Ibを供給すると、電機子コイル24bによる起磁力によりB相励磁ユニット20bの内部で-B相磁極25-bから+B相磁極25+bに向かう磁束が生じる。この磁束は、磁極ユニット21を構成する永久磁石22の起磁力により生じ

ているN極側歯部23N2、23N3を経由した磁束と対向することにより、隣り合うS極側歯部23S2、23S3、23S4方向に屈曲され、永久磁石22を介して隣り合うN極側歯部23N2、23N3、23N4に進み、B相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bに帰還する主磁束ループφ40を形成する。

【0056】この結果、磁極ユニット21のS極側歯部23S0、23S1は、対向するA相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aから磁氣的吸引力を受け、磁極ユニット21のN極側歯部23N0、23N1は、対向するA相励磁ユニット20aの-A相磁極25-aから磁氣的吸引力を受ける。つまり、磁極ユニット21は、A相励磁ユニット20aの磁極の全ての歯部から磁氣的吸引力を与えられる。このため、磁極ユニット21は、図中右方向への推力を与えられて、A相励磁ユニット20aの+A相磁極25+aの歯部が磁極ユニット21のS極側歯部23S0、23S1と対向し、-A相磁極25-aの歯部が磁極ユニット21のN極側歯部23N0、23N1と対向する位置までP/4だけ移動し、この位置で磁氣的安定となる。

【0057】また、磁極ユニット21のS極側歯部23S3、23S4は、対向するB相励磁ユニット20bの-B相磁極25-bから移動方向と垂直方向に磁氣的反発力を受け、磁極ユニット21のN極側歯部23N2、23N3は、対向するB相励磁ユニット20bの+B相磁極25+bから移動方向と垂直方向に磁氣的反発力を受ける。

【0058】この場合においても、A相励磁ユニット20aの磁極25+a、25-aの全ての歯部による磁氣的吸引力により磁極ユニット21が一旦移動し始めると、磁極ユニット21のN極側歯部23N2、23N3はB相励磁ユニット20bの磁極25-bから磁氣的吸引力を受け、S極側歯部23S2、23S3はB相励磁ユニット20bの磁極25+bから磁氣的吸引力を受けてA相励磁ユニット20aで生じた推力と同方向の推力を発生させる。同時に、磁極ユニット21のN極側歯部23N3、23N4はB相励磁ユニット20bの磁極25+bから磁氣的反発力を受け、S極側歯部23S3、23S4はB相励磁ユニット20bの磁極25-bから磁氣的反発力を受けてA相励磁ユニット20aで生じた推力と同方向の推力を発生させる。

【0059】このようにして、図7に示した位置から図中右方向にP/4だけ相対的に磁極ユニット21を移動させる際に、励磁ユニット20の磁極の全ての歯部を所定の移動方向への推力発生に寄与させることができるようになる。

【0060】以上のように図3乃至図7を用いて説明した各励磁モードの順にパルス励磁を繰り返すことによって、磁極ユニット21は図面右方向へ1ピッチ分だけ移動し、逆の手順で各励磁モードのパルス励磁を繰り返すことによって、磁極ユニット21は図面左方向へ1ピッ

10

20

30

40

50

チ分移動することができるようになる。

【0061】また、以上の説明で用いた図3乃至図7から容易に理解できるように、本実施の形態における磁極ユニット20とC型形状（あるいはコ字型形状）の励磁ユニット20で磁束ループを形成する際、磁極ユニット21の移動方向に対して垂直方向の永久磁石22の断面全体に磁束を通過させることができるようになる。従って、本実施の形態によるリニアパルスモータでは、永久磁石22の起磁力を極めて効率よく利用でき、推力向上を図ることができる。

【0062】以上が本実施の形態によるリニアパルスモータのA相及びB相励磁ユニット20a、20bを一組とした基本的な動作である。上述では理解を容易にするためにA相、B相の2相4磁極に簡略化して説明を行ったが、本実施の形態においては、現実には4相（A相、B相、C相、D相）8磁極に、それらと逆極性の4相（A'相、B'相、C'相、D'相）8磁極を加えて駆動を行うようにしている。この場合のパルス励磁による各電機子コイル24への通電スケジュールを図8に示す。図8における各横軸は時間を表しており、各縦軸は各電機子コイル24に流す電流の電流値を表している。図8(a)～(h)は、順にA相、A'相、C相、C'相、B相、B'相、D相、D'相の励磁ユニット20の電機子コイル24に流れる電流を表している。また、図8(i)は、各相励磁ユニット20の各電機子コイル24に流す電流を所定時間間隔で制御する駆動パルス列を示している。

【0063】この通電スケジュールにおいて、図8(i)に示したような駆動パルスに基づいて、A相及びA'相、C相及びC'相、B相及びB'相、D相及びD'相、の順に電機子コイル24に流す電流の極性を順次反転させることにより、磁極ユニット21を所定の方向に移動させることができる。

【0064】例えば、先に図3乃至図7を用いて説明したA相、B相励磁ユニット20a、20bを例に取り、図8(a)及び図8(e)に示す時点t1の直前において、A相、B相励磁ユニット20a、20bと磁極ユニット21とが図4に示した位置関係（これを原点位置とする）にあるとする。

【0065】図8(i)に示す時点t1での駆動パルスAにより、A相励磁ユニット20aの電機子コイル24aに流れる電流の極性が反転し、図8(a)、図8(e)、及び図4の×印から・印で示した方向の電流が電機子コイル24a、24bに流れる。その結果、磁極ユニット21は時点t1から時点t2の間に原点位置から図5に示したようにP/4だけ移動する。同様にして、図8(i)に示す時点t2での駆動パルスBにより、B相励磁ユニット20bの電機子コイル24bに流れる電流の極性が反転し、図8(a)、図8(e)、及び図5の×印から・印で示した方向の電流が電機子コイ

ル24a、24bに流れることにより、磁極ユニット21は、時点t2から時点t3の間に原点位置からP/2だけずれた図6に示す位置に移動する。さらに、図8(i)に示す時点t3での駆動パルスAにより、A相励磁ユニット20aの電機子コイル24aに流れる電流の極性が反転し、磁極ユニット21は、時点t3から時点t4の間に図7に示すように原点位置から3P/4だけ移動する。

【0066】駆動パルスに基づく上記の動作は、C相、D相励磁ユニット20c、20dにも同様に適用することができるので、A相、B相励磁ユニット20a、20bに対してC相、D相励磁ユニット20c、20dの位置を相対的にそれぞれP/8だけずらして配置し、図8(c)、図8(g)、及び図8(i)に示すように、通電スケジュールの位相をずらしてやることにより、4相励磁による駆動が可能となる。このように4相励磁駆動させることにより、推力むら（コギング）を低減させることが可能となる。

【0067】また、図1を用いて説明したように、A'相、B'相、C'相、D'相励磁ユニット20aa、20bb、20cc、20dd、は、A相、B相、C相、D相励磁ユニット20a、20b、20c、20dに対してそれぞれ相対的にP/2ずれて配置されているので、図8(b)、(d)、(f)、(h)に示すように図8(a)、(c)、(e)、(g)とは逆極性の電流をそれぞれ流すように駆動することにより、A相、B相、C相、D相励磁ユニット20a、20b、20c、20dで生じさせる推力と同方向の推力を発生させることができるようになる。従って、このような構成にすることにより高推力を得ることができるようになる。

【0068】またさらに、上述のような構成で図8に示した通電スケジュールを採用することにより、全励磁ユニット20の全磁極を用いて磁極ユニット1を一定方向へ移動させる推力を発生するようになる。また、上述のような励磁ユニット群20を1セットとして複数セットの励磁ユニット群20を配置することにより、磁極ユニット21を高推力且つ低推力むらで所望の距離だけ移動させることができるようになる。

【0069】次に、図9を用いて本実施の形態によるリニアパルスモータの励磁ユニットがC型形状（あるいはコ字型形状）であることの利点を説明する。図9(a)、(b)は共に、例としてC型形状の励磁ユニット20aを、その磁性部材100aを磁極ユニット21と同一面上に模式的に描いた概略図である。磁極25+aと磁極25-aは励磁ユニット20aのC型形状の磁性部材100aを介してC形状の開口領域端部に位置し、当該開口領域内に可動子としての磁極ユニット21が配置されている。つまり、所定の空隙を介して磁極ユニット21を両側から磁極25+aと磁極25-aで挟むようにしている。そして、既に説明したが磁極25+

aと磁極25-aとは、磁極ユニット21の移動方向に1/2ピッチずれて配置されているので、例えば磁極25+aが磁極ユニット21のN極側歯部と対向しているときには、磁極25-aは磁極ユニット21のS極側歯部と対向する。

【0070】この状態で、図9(a)のように電機子コイル24aに所定の電流を流して励磁状態にすると、磁極ユニット21は、その両側面に対向する磁極25+aと磁極25-aからほぼ均等の磁気的反発力を受けるし、図9(b)のように図9(a)の場合と逆極性の電流を電機子コイル24aに流して励磁状態にすると、磁極ユニット21は、その両側面に対向する磁極25+aと磁極25-aからほぼ均等の磁気的吸引力を受ける。また、無励磁状態においては、磁極ユニット21の永久磁石22により磁極25+aと磁極25-aはほぼ同一の磁気的吸引力を受ける。このように、いずれの状態においても磁極ユニット21は、磁極25+aと磁極25-aから同時に向きが反対のほぼ同一の力を受けて励磁ユニット20aに拘束される。この拘束力を利用することにより、磁極ユニット21の支持機構に掛かる負荷を低減させることができるようになる。

【0071】従って、一般に高推力のバルスリニアモータでは、可動子を支持する支持機構は高推力による負荷に耐えられるように剛性を高くする必要があり、支持機構が大型で重いものにならざるを得ないが、本実施の形態によるリニアバルスモータによれば、高推力化を実現しても磁極ユニット21の支持機構の大型化、大重量化を避けることが可能である。また、励磁ユニット20をC型形状とすることにより励磁ユニット20自体の剛性も十分得られるのはもちろんである。

【0072】次に、図10を用いて本実施の形態によるリニアバルスモータの励磁ユニットの変形例を説明する。図10は励磁ユニットの変形例の斜視図である。図10において、上述の励磁ユニット20aと同一の構成要素には同一の符号を伏している。図10に示す励磁ユニットは、磁極25+a、25-aを連結する磁性部材100aが、薄板鋼板積層構造である点に特徴を有している。磁性部材100aを薄板鋼板積層構造とすることにより、磁性部材100aを貫通する磁束により生じる渦電流に基づくジュール熱の発生を低減することができるようになる。

【0073】さて次に、既に図1(d)を用いて説明した本実施の形態によるリニアバルスモータの特徴的構成の一つである励磁ユニット20の各磁極25の各歯部について、当該歯部を用いることにより得られる作用及び効果を図11及び図12を用いて説明する。図11は、本実施の形態における各磁極25の歯部を図中右側に示し、比較例としての従来の歯部を左側に示している。図中上段から下段に向かって、本実施の形態の歯部と比較例の歯部とが磁極ユニット21に対して相対的に移動す

る際の、無励磁状態における磁気的吸引力の作用の相違を示す。

【0074】まず、図11(a)において、本実施の形態および比較例のいずれの歯部も、磁極ユニット21のN極側歯部23の幅とほぼ等しい幅を有し、N極側歯部23に対向しているものとする。本実施の形態の歯部の先端部の形状は、既に図1(d)を用いて説明した通り端面40と面取り42、44で構成され、比較例の歯部の先端部は、本実施の形態の歯部に設けられた面取り42、44がなく、端面40'だけの形状である。いずれの歯部の端面40、40'も磁極ユニット21側面から所定の空隙Gを隔てて位置している。

【0075】このとき本実施の形態の歯部と磁極ユニット21のN極側歯部23との間に作用する磁気的吸引力を $F_t$ 、磁気的吸引力 $F_t$ が働く方向に垂直な断面積の大きさを $A_t$ とする。一方、比較例の歯部に作用する磁気的吸引力を $F_f$ 、磁気的吸引力 $F_f$ が働く方向に垂直な断面積の大きさを $A_f$ とする。

【0076】一般に、磁気的吸引力 $F$ の大きさは、2つの磁性体間の距離の2乗に反比例し、対向する磁性体の表面積に比例するので、面取り42、44が設けられている分だけ力の作用する距離が長くなる領域を有する本実施の形態の歯部の磁気的吸引力 $F_t$ は、比較例の歯部の磁気的吸引力 $F_f$ より小さいものとなっている。

【0077】以上の状態から、図11(b)から図11(d)に示すように磁極ユニット21を図中右方向に移動させると、磁気的吸引力 $F_t$ 、 $F_f$ の移動方向の分力として推力成分 $f_t$ 、 $f_f$ が発生する。この移動に伴う推力成分 $f_t$ 、 $f_f$ の変化を図11と共に図12を用いて説明する。図12(a)は、本実施の形態による歯部での推力特性を示し、図12(b)は、比較例の歯部での推力特性を示している。両図とも横軸は移動距離を示している。両図の縦軸は原点位置から上側にはそれぞれ断面積 $A_t$ 、 $A_f$ を示し、下側にはそれぞれ磁気的吸引力 $F_t$ 、 $F_f$ の大きさ、及び推力 $f_t$ 、 $f_f$ の大きさを示している。図中横軸に示したa~dの位置は、図11(a)~(d)で示した磁極ユニット21の移動量に対応している。まず、比較例の歯部において、図11(a)~(d)及び図12(b)に示すように、磁極ユニット21の移動に伴って、断面積 $A_f$ は単調に減少する。そのため、磁気的吸引力 $F_f$ も、単調に減少していく。その結果、推力 $f_f$ は、一旦急激に増加して、その後単調に減少する。図12(b)中実線で示した推力 $f_f$ の曲線は、N極側歯部23のみを考慮した場合の推力特性を示しており、破線で示した推力 $f_f$ の曲線は、移動に伴ってN極側歯部23の隣のS極側歯部の影響を考慮した場合の推力特性である。このように、比較例に用いた従来の歯部では、磁極ユニット21の移動位置における推力 $f_f$ の大きさに偏りがあるため、コギングが発生する。

10

20

30

40

50

## 21

【0078】一方、本実施の形態による歯部の場合、図11(a)～(d)及び図12(a)に示すように、面取り42、44を備えているために、磁極ユニット21の移動に伴って、断面積 $A_t$ は単調には減少せず面積が増加する位置が存在する。そのため、磁気的吸引力 $F_f$ も、断面積 $A_t$ の変化に応じて増加する位置が存在し、位置 $a \sim d$ 間で1周期分の正弦波状に変化する。その結果、推力 $f_t$ は、半周期分の正弦波状に変化するようになる。なお、図12(a)中実線及び破線で示した推力 $f_t$ の曲線の意味は、図12(b)における比較例と同様である。このように本実施の形態によれば、無励磁状態で正弦波状に変化する推力特性を得ることができるようになるのでコギングを低減させることができるようになる。さらに、位相をずらして配置され、且つ駆動される複数の励磁ユニット群20の磁極25の全歯部に対して面取りを設けることにより、上述の正弦波状の推力特性を平滑化させることができるのでコギングを極めて低減させたりニアパルスモータを実現することができるようになる。

【0079】本発明は、上記実施の形態に限らず種々の変形が可能である。例えば、上記実施の形態においては、励磁ユニット群20を固定子として機能させ、磁極ユニット21を可動子として機能させたが、励磁ユニット群20を可動子、磁極ユニット21を固定子として機能させることももちろん可能である。

【0080】また、上記実施の形態においては、磁極ユニット21の移動方向における磁性体23の厚さと永久磁石22の厚さを等しくしているが、本発明はこれに限られず、例えば磁性体23の厚さを永久磁石22の厚さより適宜厚くさせるようにしてもよい。またさらに、上記実施の形態においては、4相16磁極による駆動例で説明したが、本発明はこれに限られず、複数相、複数磁極の駆動において容易に本発明を適用可能である。

【0081】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、磁極ユニットの歯部と対向する励磁ユニットの磁極の総面積を推力発生用に有効に利用することができるようになる。さらに、推力むらを低減させ、また十分な剛性強度を有するニアパルスモータを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの概略の構成を示す図である。

【図2】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの概略の構成を示す斜視図である。

【図3】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの基本的動作を説明する図である。

【図4】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの基本的動作を説明する図である。

【図5】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの基本的動作を説明する図である。

## 22

タの基本的動作を説明する図である。

【図6】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの基本的動作を説明する図である。

【図7】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの基本的動作を説明する図である。

【図8】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータを駆動するための電機子コイルへの通電スケジュールを示す図である。

【図9】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの励磁ユニットの構造を示す図である。

【図10】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの励磁ユニットの変形例を示す図である。

【図11】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの励磁ユニットの磁極先端の歯部について説明する図である。

【図12】本発明の一実施の形態によるニアパルスモータの励磁ユニットの磁極先端の歯部について説明する図である。

【図13】従来のニアパルスモータの無励磁状態での磁束経路を説明する図である。

【図14】従来のニアパルスモータの2相バイポーラ励磁状態での磁束経路を説明する図である。

【符号の説明】

20 励磁ユニット(群)

20a A相励磁ユニット

20b B相励磁ユニット

20c C相励磁ユニット

20d D相励磁ユニット

21 磁極ユニット

22 永久磁石

23 歯部

24 電機子コイル

24a A相電機子コイル

24b B相電機子コイル

25 磁極

25+a、25-a A相磁極

25+b、25-b B相磁極

25+c、25-c C相磁極

25+d、25-d D相磁極

40 25+aa、25-aa A'相磁極

25+bb、25-bb B'相磁極

25+cc、25-cc C'相磁極

25+dd、25-dd D'相磁極

40 端面

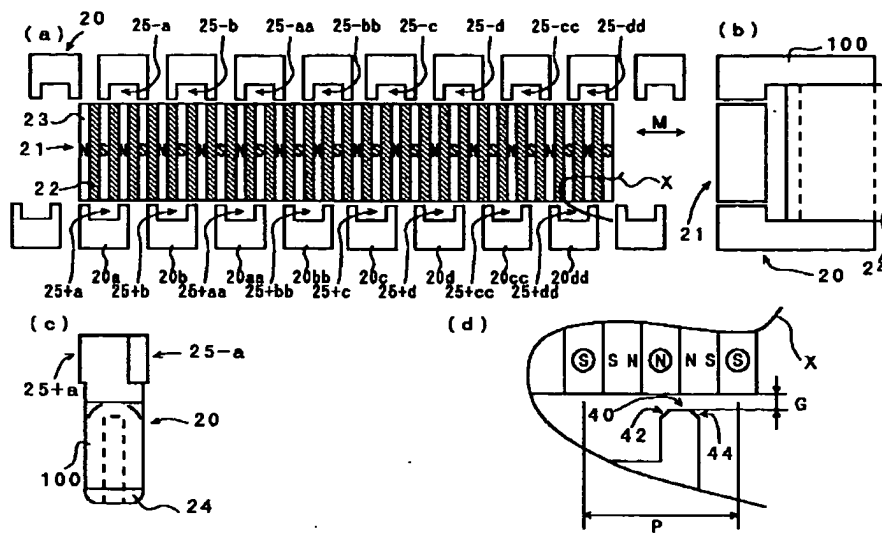
42、44 面取り

100 磁性部材

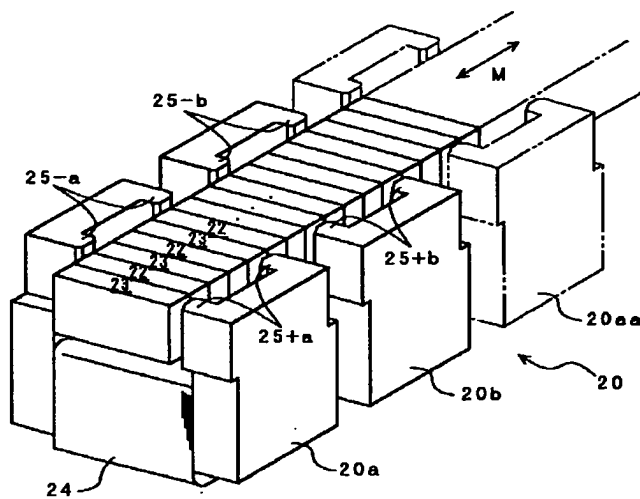
P ビッチ

G 空隙

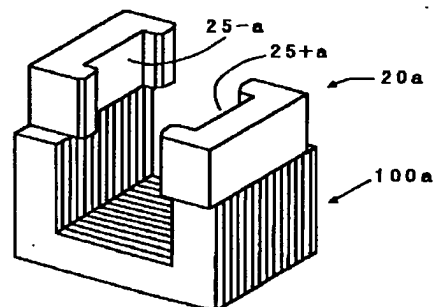
【图 1】



【図2】



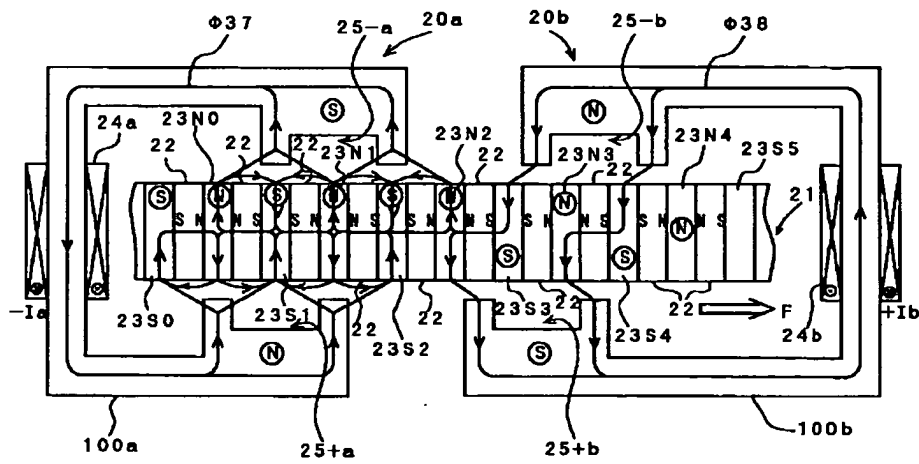
【図10】



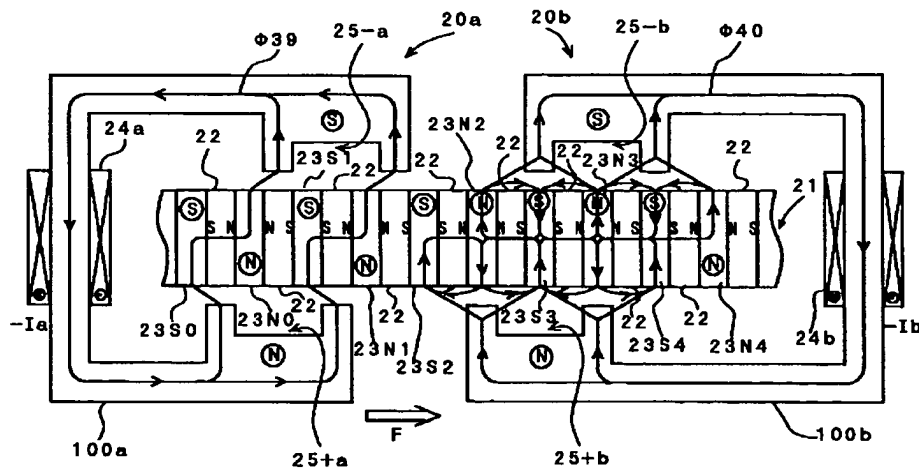




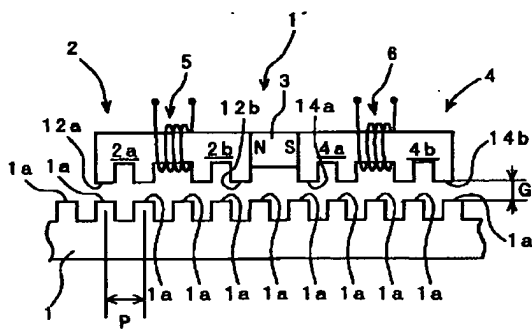
【図6】



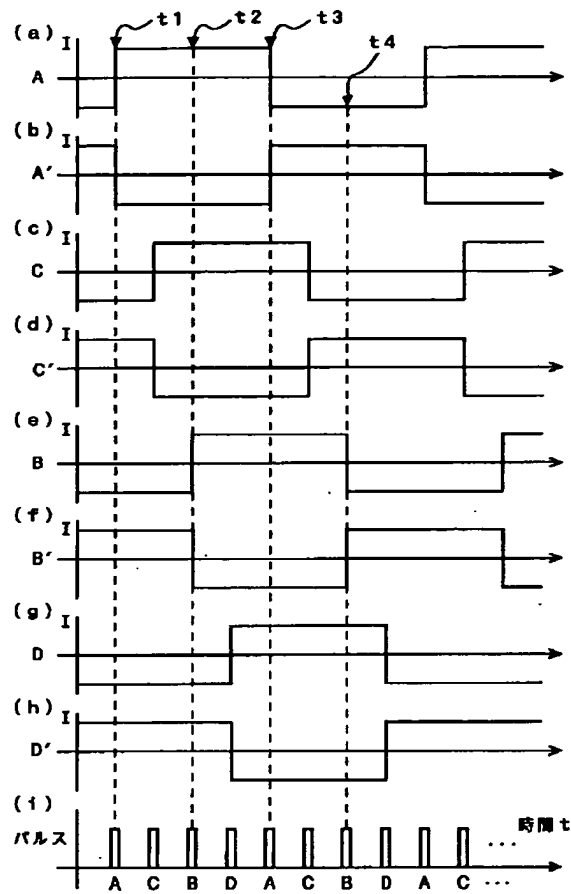
【図7】



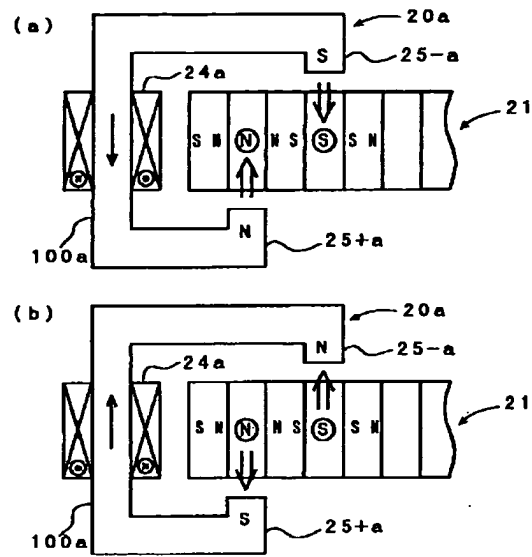
【図13】



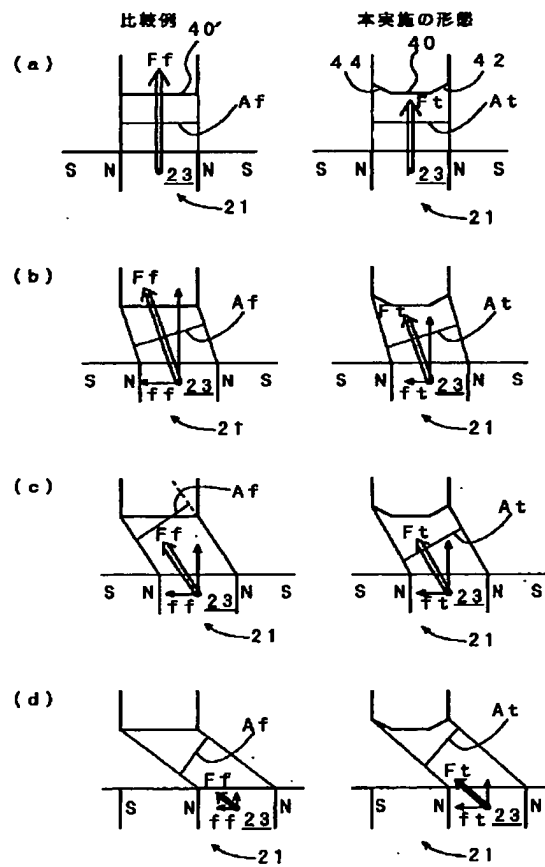
【図8】



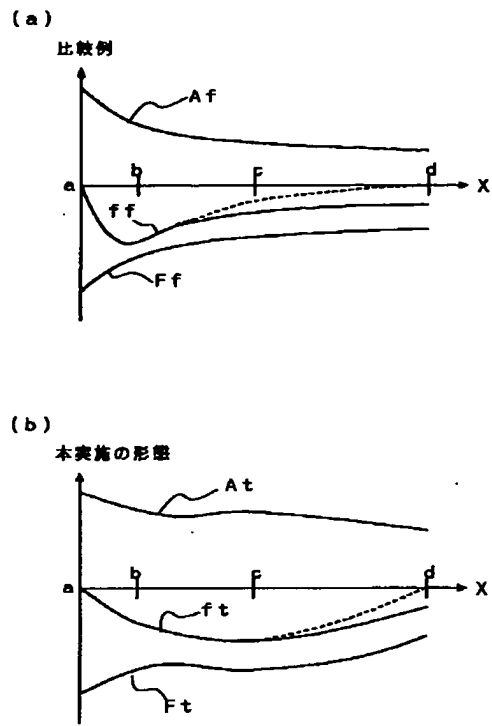
【図9】



【図11】



【図12】



【図14】

